

Sistema de detecção de vagas em estacionamento inteligente usando ESP32

Luís E. Bertelli¹

¹Departamento de Ciência da Computação
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – Joinville, SC – Brazil
E-mail: luiseduardobertelli1@gmail.com

Abstract. *This article presents a system proposal for smart parking, utilizing the ESP32 microcontroller and an ultrasonic sensor to detect parking space occupancy. Communication between the device and a web application is achieved through the MQTT protocol, using the Mosquitto broker. The motivation behind developing this system arises from the need to address urban challenges related to parking availability, aiming to reduce search times for parking spaces and, consequently, decrease CO2 emissions. The article also explores related works in the smart parking domain, highlighting different approaches and technologies employed.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma proposta de sistema para estacionamentos inteligentes, utilizando o microcontrolador ESP32 e um sensor ultrassônico para detectar a ocupação de vagas. A comunicação entre o dispositivo e uma aplicação web é realizada por meio do protocolo MQTT, utilizando o broker Mosquitto. A motivação para o desenvolvimento desse sistema surge da necessidade de enfrentar os desafios urbanos relacionados à disponibilidade de estacionamento, contribuindo para a redução do tempo de busca por vagas e, consequentemente, para a diminuição das emissões de CO2. O artigo também aborda trabalhos relacionados na área de estacionamentos inteligentes, destacando diferentes abordagens e tecnologias utilizadas.*

Estacionamento Inteligente, ESP32, Sensor Ultrassônico, Protocolo MQTT, Broker Mosquitto, Internet das Coisas (IoT), Desafios Urbanos

1. Introdução

O aumento do número de carros nas cidades e o crescimento populacional têm tornado cada vez mais difícil encontrar vagas para estacionar. O tempo significativo dedicado a encontrar um espaço disponível não apenas impacta a experiência dos condutores, mas também contribui para problemas mais amplos, como o congestionamento do tráfego, que está ligado diretamente à emissão de gases de efeito estufa tais quais dióxido de carbono. [dos Santos Novelino and de Oliveira 2019] Nesse cenário, a aplicação de internet das coisas nos estacionamentos surge como uma solução para corrigir ou amenizar esses problemas, resultando nos chamados estacionamentos inteligentes.

A Internet das Coisas (IoT) desempenha um papel fundamental na transformação de espaços urbanos, proporcionando soluções inovadoras para desafios específicos, como a gestão de estacionamentos. Ao conectar dispositivos e coletar dados em tempo real, a

IoT possibilita a criação de ambientes inteligentes e eficientes. A essência dessa tecnologia está na capacidade dos dispositivos de coletar e transmitir informações pela Internet, promovendo uma interação contínua. Essa interconexão dinâmica abre portas para melhorias significativas na qualidade de vida, otimização de processos industriais e avanços em setores como saúde, agricultura e diversas outras áreas.[Proença 2022]

No âmbito deste artigo, apresentaremos uma proposta de sistema para estacionamentos inteligentes, utilizando o microcontrolador ESP32 em conjunto com um sensor ultrassônico, que enviam mensagens MQTT por meio do broker local Mosquitto utilizando o protocolo de rede 802.11. Essa abordagem visa identificar a presença de veículos em determinada região e comunicar, por meio de um servidor web, se a vaga está ocupada ou disponível.

1.1. Motivação

A inspiração para a elaboração deste artigo nasce da busca por uma proposta de sistema de estacionamento inteligente que seja não apenas eficiente, mas também acessível em termos de custos e consumo energético. O objetivo central é apresentar uma solução de baixo custo que contribua significativamente para a otimização do espaço urbano e a redução do tempo gasto na procura por vagas de estacionamento. Essa abordagem não apenas visa minimizar o congestionamento nas vias públicas, mas também, de maneira indireta, busca diminuir a emissão de dióxido de carbono, promovendo assim uma solução sustentável.

A implementação de uma aplicação web complementa a proposta, elevando a conveniência para os motoristas. Ao oferecer a capacidade de verificar a disponibilidade de vagas de estacionamento remotamente, antes mesmo de deslocarem-se fisicamente aos estacionamentos, a aplicação web acrescenta uma camada adicional de praticidade à experiência do usuário.

Na seção 2 deste artigo traremos alguns trabalhos relacionados a estacionamentos inteligentes para contextualizar pesquisas e desenvolvimentos nessa área, na seção 3 a proposta implementada, falando um pouco sobre os componentes de hardware, as tecnologias de comunicação utilizadas e o desenvolvimento, na seção 4 a análise dos resultados e finalizando na seção 5 com uma conclusão.

2. Trabalhos Relacionados

Em relação a trabalhos relacionados a estacionamentos inteligentes, iremos abordar dois estudos na área, um deles sendo um trabalho de conclusão de curso realizado por um aluno da UDESC e outro um artigo publicado na revista IEE.

No trabalho de conclusão de curso intitulado "Projeto de estacionamento inteligente utilizando sensores IoT para detecção de vagas"[Schoepping 2022], o autor propôs a criação de um dispositivo inteligente para detecção de vagas de estacionamento, empregando o hardware WisBlock Core para as conexões e alimentação de todos os módulos do protótipo. O sistema incorporou sensores do tipo TOF (Time-of-Flight), que é uma tecnologia de sensoriamento que mede o tempo que a luz leva para viajar até um objeto e retornar ao sensor, para a identificação de vagas e utilizou a comunicação LoRa (Long Range), projetada para permitir a transmissão de dados em distâncias consideráveis, en-

quanto consome baixa potência, para transmitir os dados até o gateway. O autor escolheu o broker Tago.io para gerenciar a comunicação entre os dispositivos.

Durante a implementação na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), foram identificados desafios significativos. Os resultados indicaram problemas notáveis no consumo de energia, resultando em um tempo de funcionamento estimado de apenas 30 dias. Além disso, a eficiência do tempo de resposta dos sensores não atendeu às expectativas. No entanto, vale destacar que a comunicação LoRa se mostrou robusta, sem falhas no envio de dados ou perda de pacotes.

No artigo intitulado "IoT-Enabled Vacant Parking Slot Detection System Using Inkjet-Printed RFID Tags"[Zahid et al. 2023], os autores não detalharam o microcontrolador específico utilizado. Em relação aos sensores, adotaram uma abordagem com sensores infravermelhos de funcionamento passivo, os quais, quando obstruídos por objetos metálicos, como carros, enviavam sinais para um banco de dados. A escolha da tecnologia de rede foi a rede 5G, destacando-se por oferecer alta velocidade de transmissão de dados e baixa latência.

A implementação foi estrategicamente categorizada como uma proposta de baixo custo, tanto em termos de energia quanto de implementação. Esse aspecto se deve à natureza passiva das tags RFID e à fabricação de peças por meio de impressoras 3D. Além disso, os autores desenvolveram uma aplicação web em Python para exibir em tempo real a disponibilidade das vagas, adicionando uma camada de praticidade e visualização ao sistema proposto.

Em resumo, ambas as propostas compartilham o objetivo de otimizar a gestão de estacionamento, mas diferem nas tecnologias e abordagens escolhidas. Podemos perceber que existem diversas abordagens possíveis para desenvolvimento de aplicação de estacionamento inteligente e as escolhas feitas em cada projeto refletem as considerações específicas de requisitos, custos e desafios associados a cada implementação.

Abaixo segue uma tabela com a comparação entre os trabalhos realizados e o proposto neste artigo.

Autor	Microcontrolador	Sensor	Comunicação	Broker
Schoepping IEEE	WisBlock Core -	TOF Infravermelho	LoRa 5G	Tago.io -
Este artigo	ESP32	Ultrassônico	802.11	Mosquitto

3. Proposta

Nesta seção serão tratados sobre os componentes de hardware e tecnologias de comunicação empregadas para o desenvolvimento do protótipo do estacionamento inteligente.

3.1. Componentes de Hardware

Em relação aos componentes de hardware utilizados para a elaboração do prototipo, temos 4 componentes principais que foram utilizados, sendo eles a protoboard, ESP32, sensor HC-SR04 e sensor LJ18A3.

A protoboard é a placa de prototipagem, ela é composta por uma base isolante contendo uma matriz de furos, cada um conectado a trilhas condutoras internas, essas trilhas permitem a interconexão de componentes eletrônicos e criar circuitos para testar funcionalidades antes de fazer soldagem em placas de circuitos permanentes. O ESP32 é posicionado na protoboard e os furos ao lado dos seus GPIOs são utilizados para fazer as conexões dos componentes.

O ESP32, desenvolvido pela Espressif Systems, destaca-se como um microcontrolador versátil, unindo recursos avançados e eficiência energética. Sua característica principal é a capacidade de comunicação sem fio, suportando 802.11 e Bluetooth. Essa funcionalidade possibilita ao ESP32 conectar-se a redes locais, facilitando a comunicação com a internet e outros dispositivos na rede. O microcontrolador apresenta uma disposição de pinos GPIO em suas laterais, fornecendo capacidade para interação com sensores, atuadores e diversos periféricos. A alimentação do ESP32 pode ser fornecida através de um cabo de programação USB, que também serve para o carregamento de scripts, permitindo a configuração das capacidades do ESP32 de maneira prática e eficaz.

O sensor HC-SR04 é um dispositivo ultrassônico utilizado para medir distância de forma precisa em projetos de IOT. Ele possui 4 pinos, sendo eles: O pino VCC é destinado à alimentação do sensor, enquanto o pino Trig desempenha o papel de entrada, acionando o transmissor ultrassônico quando recebe um pulso de curta duração. O pino Echo, por sua vez, funciona como saída, responsável por medir o tempo de retorno do sinal refletido. Completando a pinagem, o GND representa a conexão à terra. Seu funcionamento ocorre da seguinte maneira, para medir a distância, um pulso de curta duração é enviado ao pino Trig, acionando o transmissor ultrassônico, o sensor então aguarda a recepção do sinal refletido no pino Echo, o tempo decorrido entre o envio e a recepção é convertido em distância por meio de cálculos simples na programação do microcontrolador.

O sensor LJ18A3 é um sensor indutivo de proximidade utilizado para detectar a presença ou ausência de objetos metálicos em sua área de detecção, esse tipo de sensor opera com base no princípio da indução eletromagnética, respondendo a presença de materiais condutores, como metal. Ele possui três fios, um para alimentação, um terra e um de saída. Seu funcionamento se baseia na geração de um campo magnético de alta frequência em torno da bobina interna quando alimentado, quando um objeto metálico entra nesse campo, ocorre uma alteração nas características do campo magnético, induzindo corrente elétrica na bobina, essa alteração é detectada pelo sensor, indicando a presença do objeto.

Em relação aos sensores, foi utilizado apenas o HC-SR04 para medir a distância no protótipo final, para o sensor LJ18A3, foi utilizada uma fonte de 9V para alimentação do sensor, porém o mesmo não estava tendo a alimentação necessária para funcionar corretamente, de acordo com as suas especificações, necessita de 12v a 24v para alimentação.

Na Figura 1 temos uma foto do protótipo desenvolvido utilizando as peças citadas juntamente com jumpers, LEDs e resistores.

3.2. Tecnologias de comunicação

Em termos de tecnologia de comunicação, vamos tratar do protocolo de rede 802.11 e do protocolo de mensagem MQTT.

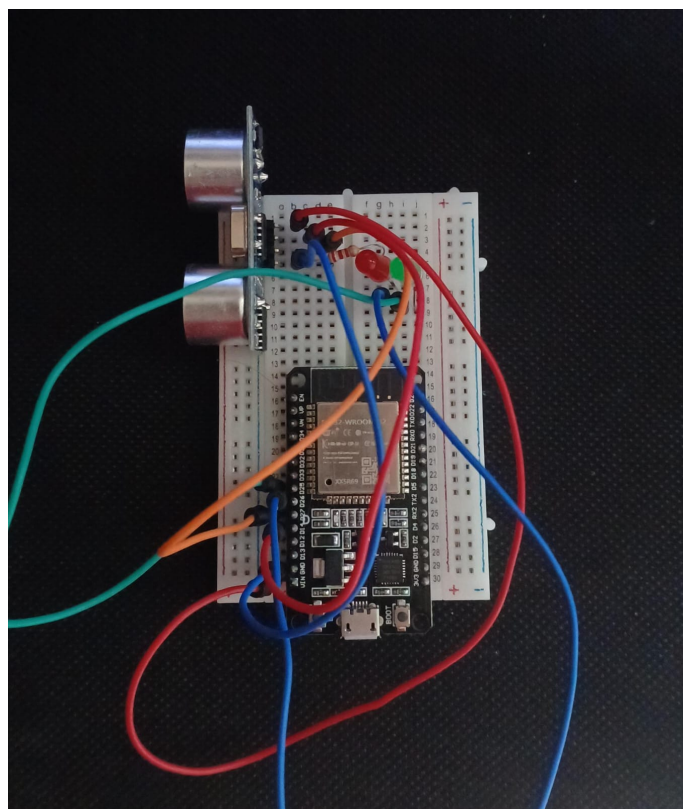


Figura 1. Imagem do protótipo.

O 802.11, também conhecido como Wi-Fi refere-se a uma família de padrões de rede sem fio estabelecidos pelo Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE). Esses padrões definem as especificações para a implementação de redes locais sem fio (WLAN). Ele fornece as diretrizes para comunicação sem fio de dispositivos, como computadores, smartphones e outros dispositivos habilitados para Wi-Fi. O padrão 802.11 define aspectos como frequências operacionais, modulação, segurança e métodos de acesso ao meio, proporcionando interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes.

O MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo de mensagens leve e eficiente projetado para facilitar a comunicação entre dispositivos em redes com largura de banda limitada e alta latência, características comuns em ambientes de Internet das Coisas. O MQTT opera sob o modelo de publicação/assinatura, onde os dispositivos podem publicar mensagens em tópicos específicos e se inscrever para receber mensagens em tópicos de seu interesse. Esse modelo distribuído permite a comunicação assíncrona entre dispositivos, facilitando a troca de informações em tempo real. Além disso, o MQTT é conhecido por seu baixo consumo de largura de banda e pela capacidade de suportar ambientes de rede instáveis.

3.3. Desenvolvimento

Nessa seção será tratado como foi feito o desenvolvimento do protótipo. Para a elaboração dos códigos, foi escolhida a plataforma PlatformIO, que é uma extensão para o VSCode especializada para o desenvolvimento de sistemas embarcados, ele oferece suporte para uma ampla gama de frameworks e bibliotecas. Para fazer a comunicação com o protocolo

MQTT é necessário um Broker, o escolhido para essa função foi o Mosquitto.

Dentro do PlatformIO, foram usadas as bibliotecas NewPing para fazer a medida da distância usando os sensores ultrassônicos, PubSubClient, usada para implementar a comunicação com o protocolo MQTT em projetos de arduino e Wifi.h para comunicação com o protocolo 802.11.

No início do código, foram definidos que pinos estão sendo usados pelos sensores e LEDs e as credenciais de acesso para as conexões Wi-Fi e MQTT, foram também definidas as funções para publicação de dados para o broker MQTT. O ESP32 então tenta realizar as conexões com bases nas credenciais, caso tenha problemas com a conexão posteriormente ele também possui funções para fazer a reconexão. Após a preparação principal, o código entra no método principal Loop, onde ele realiza a leitura do sensor ultrassônico e controla dois LEDs com base na distância medida e faz a publicação dessa distância em no broker Mosquitto em um tópico pre-estabelecido. A ideia é a seguinte, quando sensor ultrassônico detecta um objeto a menos de 9cm dele, é considerado que a vaga esta ocupada e o LED vermelho acende, quando o objeto está a uma distância maior ou igual a 9cm, a vaga é identificada como livre.

Foi feito então um servidor web em Node.js utilizando o framework Express para iniciar o servidor, Socket.io para fazer a utilização de WebSockets para proporcionar comunicação entre clientes e servidores e MQTT, para configurar as publicações e inscrições com o Mosquitto. O servidor então se conecta com o broker utilizado, fazendo a sua inscrição no tópico em que o ESP32 está fazendo as publicações. Esses dados então são tratados e numa página HTML tem a disposição da vaga como ocupada ou livre. Nas Figura 2 e 3 temos a apresentação da aplicação web para quando a vaga está e quando não está livre.

Sistema de detecção de vaga

Status da Vaga:



Vaga: Livre Distância: 37 cm

Figura 2. Representação vaga livre.

4. Análise dos Resultados

Nos testes realizados, utilizamos um carrinho em miniatura para simular um veículo para avaliar o desempenho do sensor em detectar a ocupação da vaga. O sensor HC-SR04 demonstrou eficácia ao avaliar a distância e indicar com precisão se a vaga estava ocupada ou não. No entanto, identificamos uma limitação notável: o sensor considera ocupada a vaga sempre que qualquer objeto entra no raio de 9cm, sem a capacidade de distinguir entre veículos e outros objetos. Esta característica pode ser uma limitação em cenários onde apenas a presença de veículos deve ser contabilizada.

Sistema de detecção de vaga

Status da Vaga:



Vaga: Ocupado Distância: 3 cm

Figura 3. Representação vaga ocupada.

No caso do sensor LJ18A3, que possui a capacidade de detectar objetos metálicos, exploramos a possibilidade de utilizá-lo para criar uma condição mais específica para a ocupação da vaga. Porém ocorreu um desafio relacionado à alimentação do sensor, em que a fonte utilizada não era suficiente para alimentar o sensor, impedindo que o mesmo fosse utilizado com sucesso na implementação.

Durante os testes para a implementação do broker MQTT, exploramos diferentes opções até encontrar a solução ideal. Inicialmente, utilizamos o HiveMQ, onde enfrentamos dificuldades na conexão do ESP32, mesmo após a configuração das credenciais. Posteriormente, experimentamos o Tago.io, onde o ESP32 conseguia realizar publicações e inscrições, mas surgiram obstáculos com o servidor web, que não conseguia se inscrever nos tópicos correspondentes.

Diante desses desafios, optamos pelo broker local Mosquitto, onde houve sucesso tanto nas inscrições como nas publicações dos tópicos. Além disso, não foram registrados perdas de dados durante os testes realizados.

5. Conclusão

A aplicação da IoT no contexto de estacionamentos inteligentes mostrou-se uma abordagem promissora. A capacidade de conectar dispositivos e coletar dados em tempo real permitiu a criação de um sistema funcional porém com algumas limitações. A proposta apresentada neste artigo, utilizando o microcontrolador ESP32 em conjunto com um sensor ultrassônico e o protocolo MQTT via broker Mosquitto, buscou identificar a presença de veículos e comunicar, por meio de uma aplicação web, a disponibilidade das vagas.

A análise dos resultados revelou o desempenho eficaz do sensor HC-SR04 na detecção da ocupação da vaga, embora tenha sido identificada uma limitação em relação à detecção de objetos não veiculares a uma distância inferior a 9cm. O sensor LJ18A3, apesar de sua capacidade de detectar objetos metálicos, enfrentou desafios relacionados à alimentação durante os testes.

A continuidade dessa pesquisa pode envolver a exploração de soluções para a limitação identificada no sensor HC-SR04, possivelmente a utilização de uma fonte adequada para o sensor LJ18A3 visando aprimorar a versatilidade do sistema.

Referências

- dos Santos Novelino, E. and de Oliveira, R. L. (2019). Estacionamento inteligente com comunicação via plataforma iot thingspeak. *Revista Interdisciplinar Pensamento Científico*, 5(4).
- Proença, M. H. (2022). Arquitetura iot para aplicação em smart campus.
- Schoepping, V. E. (2022). Projeto de estacionamento inteligente utilizando parking iot sensor.
- Zahid, A., Mufti, N., Ullah, S., Nawaz, M. W., Sharif, A., Imran, M. A., Abbasi, Q. H., et al. (2023). Iot-enabled vacant parking slot detection system using inkjet-printed rfid tags. *IEEE Sensors Journal*, 23(7):7828–7835.